# Kreislaufwirtschaft in der Praxis

**Am Standort Emmenspitz in Zuchwil/SO könnte mit dem Phos4life-Verfahren aus Klärschlammasche qualitativ gute Phosphorsäure hergestellt werden.**

## Management Summary

Die oben aufgeführten acht Projektpartnern haben Mitte 2019 die Stiftung ZAR beauftragt, abzuklären ob und wenn ja unter welchen Rahmenbedingungen am Standort Emmenspitz in Zuchwil (SO) eine Phos4life-Anlage zur Herstellung von Phosphorsäure aus Klärschlammasche (KSA) erstellt und betrieben werden könnte. Das Resultat der Abklärungen hat ergeben: Mit dem Bau einer Phos4life-Anlage am Standort Emmenspitz könnte für grosse Teile der Schweiz ein Leuchtturmprojekt für die Kreislaufwirtschaft geschaffen werden, bei dem das lebenswichtige Element Phosphor aus dem Abwasserpfad zurückgewonnen wird. Konkret könnte dabei aus 40'000 t Klärschlammasche jährlich 12'000 t technische Phosphorsäure als Ausgangsstoff für die Düngerherstellung oder für industrielle Zwecke produziert werden.

Grund für die positive Bewertung der Machbarkeit sind einerseits das technisch optimierte und vereinfachte Verfahren und andererseits die Vorzüge des ausgewählten Standorts – dieser bietet:

- ✓ Ein geeignetes Areal zum Bau einer Phos4life-Anlage mit einer Kapazität bis zu 40'000t/a Klärschlammasche
- ✓ Die erforderliche, erneuerbare Energie von der KEBAG Enova in Form von Dampf und Strom
- ✓ Eine gute Verkehrsanbindung durch Strassen- und Bahnanschluss mit Logistikflächen
- ✓ Synergien zu anderen Prozessen
- ✓ Die planungsrechtlichen Voraussetzungen
- ✓ Eine positive behördliche Stellungnahme zu Voruntersuchung und Pflichtenheft

Am 27. April 2023 wurden die Projektpartner über die Resultate der Abklärungen informiert und dokumentiert.

## Phosphor als wichtiger Baustein des Lebens

Phosphor ist ein essenzielles und nicht substituierbares Element für Pflanzen, Tiere und Menschen. Als Nährstoff ist Phosphor unverzichtbar und somit neben Stickstoff und Kalium der dritte «Baustein» vieler Düngemittel und Basis für die Nahrungsmittelversorgung.

## Der Phosphorkonsum hinterlässt seine Spuren

Die primäre Phosphor-Mineraldüngerherstellung basiert auf dem Einsatz von Rohphosphat und der daraus gewonnen Phosphorsäure. Dabei wird weltweit über 80% der hergestellten Phosphorsäure für die Düngerproduktion eingesetzt. Bei der Phosphorsäuregewinnung mit Schwefelsäure aus Rohphosphat fallen pro Tonne Phosphorsäure weltweit ca. 5 Tonnen unter anderem radioaktiv (z.B. uranhaltiger) kontaminierter Phosphorgips an, der je nach Standort (un-)kontrolliert abgelagert oder im Ozean «entsorgt» wird. Diesen ökologischen Fussabdruck tragen auch alle in die Schweiz importierten phosphorhaltigen Düngemittel mit sich. Das ökologische Ausmass in den Produktionsländern findet in den Ländern der Mineraldüngerabnehmer praktisch keine Beachtung und spiegelt sich auch in der heutigen Preisgestaltung der Produkte nicht wider.

## Wo sich unser Phosphor wiederfindet

Mit den Nahrungsmitteln nehmen wir regelmässig Phosphor auf, den wir zu grossen Teilen wieder ausscheiden. Dieser landet dann im Abwasser. Weil zu viel Phosphor für die Gewässer eine Gefahr darstellt, wird dieser in den Kläranlagen durch chemische Fällung aus dem Abwasserstrom entfernt und gelangt somit in den Klärschlamm.

## Gesetzliche Vorgaben

Der Bundesrat hat am 4. Dezember 2015, gestützt auf das Umweltschutz- und Gewässerschutzgesetz, in der Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (VVEA) die Bestimmung erlassen, wonach ab dem 1. Januar 2026 aus kommunalem Abwasser, aus Klärschlamm zentraler Abwasserreinigungsanlagen oder aus der Asche von thermisch behandeltem Klärschlamm Phosphor zurückzugewinnen und stofflich zu verwerten ist.

## Wo liegt die Herausforderung zur Gewinnung des Phosphors aus dem Abwasserpfad?

Getrockneter Klärschlamm bzw. Klärschlammaschen von ARAs mit chemischer Phosphorelimination eignen sich mit ihren geringeren Phosphor-Anteilen (2–6% bzw. 5–12% P) und den verhältnismässig hohen Schwermetallgehalten nicht zur direkten Nutzung bzw. zur Herstellung von hochwertigen Phosphordüngern. Um ein nachhaltiges Phosphor-Recycling zu ermöglichen, muss eine effiziente Schadstoffseparation angestrebt werden. Als Lösung bietet sich dafür der Weg über die Herstellung einer sauberen Phosphorsäure aus KSA an. Diese Phosphorsäure kann dann direkt für industrielle Zwecke oder als Ausgangsstoff für die Düngerherstellung genutzt werden.

## Ein Blick zurück – Von der Vision, selbst Dünger herzustellen

Seit 1881 wurde bei der Chemischen Fabrik Uetikon (ZH) unter anderem Phosphorsäure und daraus anschliessend Mineraldünger hergestellt, bis Umweltprobleme und die Wirtschaftlichkeit zu einem Produktionsende führten.

Die Hinterlassenschaften (u.a. Phosphorgips) im Zürichsee und den angrenzenden Uferbereichen werden derzeit aufwändig saniert.

Die Herstellung von Mineraldüngern aus geeigneten Rohstoffen ist keine komplexe Technologie. Ein gezieltes Ausschleusen und Management der Schadstoffe – insbesondere bei der Rohstoffgewinnung – ist hierbei ein wichtiger Schlüsselschritt, der bei einer zukünftigen Düngemittelherstellung in der Schweiz im Sinne des Umweltschutzgesetztes sowohl konsequent als auch präventiv umgesetzt werden sollte. Diesen Umstand gilt es auch bei der «Kostendiskussion» zu berücksichtigen und durch konsequentes Handeln im Hier und Jetzt zu lösen, damit die Probleme nicht auf nachfolgende Generationen verschoben werden.

## Das Phos4-life Verfahren

Da es 2014 keine etablierten Verfahren zur Herstellung von Phosphorsäure aus Klärschlammasche gab, wurde der spanische Generalunternehmer Técnicas Reunidas als geeigneter Partner zur Entwicklung eines eigenen Verfahrens evaluiert. In der Folgezeit wurde das Phos4life-Verfahren zur Gewinnung technisch reiner Phosphorsäure aus KSA entwickelt und 2017–2018 erfolgreich pilotiert. Die in der Klärschlammasche enthaltenen Schwermetalle werden effizient abgetrennt und einer Verwertung bzw. sicheren Deponierung zugeführt. Die gewonnene technisch reine Phosphorsäure entspricht einer marktüblichen technischen Qualität und bietet ein grosses Absatzpotenzial von chemisch-technischen Anwendungen bis hin zur Düngemittelproduktion.

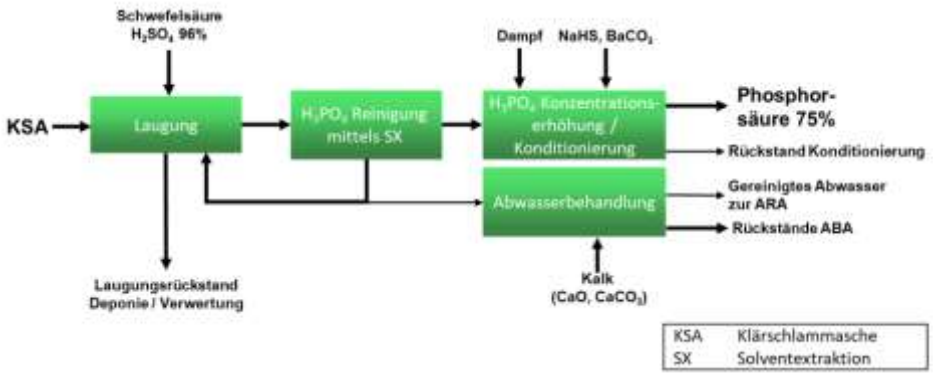


Abbildung 1: Phos4life Verfahren zur Herstellung technischer Phosphorsäure aus Klärschlammasche

Anschliessend konnte gezeigt werden, dass die Realisierung einer Phos4life-Anlage in der Schweiz nur dann sinnvoll ist, wenn darin eine grössere Menge von Klärschlammaschen behandelt und damit der Skaleneffekt einer grösseren Anlage genutzt werden kann.

## Auftrag der Projektpartner

Die Stiftung ZAR wurde Mitte 2019 durch acht für die Klärschlammentsorgung verantwortlichen öffentlich-rechtlichen Trägerschaften beauftragt, die Umsetzbarkeit des Phos4Life-Verfahrens am Standort Emmenspitz zu prüfen. Diese Projektpartner repräsentieren eine heutige bzw. zukünftige KSA-Menge von etwa 40'000 t/a – dies entspricht etwa der Hälfte der schweizweit anfallenden Klärschlammaschenmenge. Diese Menge wurde als Kapazität der projektierten Anlage zugrunde gelegt.

## Durchgeführte Arbeiten

Zur Ausführung der notwendigen Arbeiten beauftragte die Stiftung ZAR die Firma Ramboll zur bauherrenseitigen Projektleitungsunterstützung sowie die Fachplaner Fiedler Beck Ingenieure (Architektur, Hochbau), Ramboll (Elektrotechnik EMSRL), TBF Partner (Tiefbau, Logistik, Umweltverträglichkeit, Gebäudetechnik), Técnicas Reunidas SA (Kernprozess Verfahren) und VTU Schweiz (Nebenanlagen) zur Erarbeitung der notwendigen Konzepte und Unterlagen.

Um die Umsetzbarkeit des Phos4Life Projektes am Standort Emmenspitz beurteilen zu können, wurden im Rahmen der Studie unter anderem folgende Punkte geklärt:

- ✓ Erstellung eines abgestimmten Logistikkonzeptes, vorzugsweise unter Nutzung des vorhandenen Bahnanschlusses
- ✓ Ermittlung der Platzverhältnisse, Gebäude und Layoutangaben
- ✓ Ermittlung aller notwendigen Anlageteile zum Betrieb der Phos4life-Anlage. Dazu gehört die Bereitstellung von Betriebsmitteln, Lagerung und Abtransport von Produkten und Reststoffen, EMSR und Schnittstellen zu den anderen Anlagen. Wo möglich und sinnvoll machbar, soll die Integration in vorhandene Infrastrukturen geprüft werden
- ✓ Prüfung der Bewilligungsfähigkeit
- ✓ Grundlagen zur Investitions- und Betriebskostenrechnung

## Zum Areal Emmenspitz

Auf dem Areal Emmenspitz wird zurzeit die bestehende Kehrichtverwertungsanlage (KVA) der KEBAG erneuert. In der KEBAG Enova können künftig bis zu 265'000 t Abfälle thermisch behandelt werden. In diesem Zusammenhang fällt erneuerbare Energie an, die für den Phos4life-Prozess eingesetzt werden kann. Zudem wird auf dem Areal seit Jahrzehnten das Abwasser des Zweckverbands der Abwasserregion Solothurn-Emme (ZASE) gereinigt. Bevor das Baufeld für eine Phos4life-Anlage im Jahre 2027 zur Verfügung steht, müssen im Zuge des Neubaus der KVA noch Gebäude auf dem Areal rückgebaut werden.

Abbildung 2: Emmenspitz Areal

## Resultat der Abklärungen

Die Machbarkeit des Phos4life-Verfahrens zur Behandlung von 40'000 t/a KSA am Standort Emmenspitz konnte erfolgreich gezeigt werden. Die im Rahmen der Projektvereinbarung gestellten Ziele sind erreicht und die entsprechenden Aufgaben erfüllt. Zum Abschluss der Arbeiten wird die Stiftung ZAR bis zum Jahresende 2023 noch einen Businessplan erstellen und den Projektpartnern zustellen.

## Kosten der Phosphorrückgewinnung aus KSA

Durch die aktuell geopolitisch angespannte Situation ist einerseits die Kostenermittlung sowie anderseits auch die Situation auf den Rohstoffmärkten von Unsicherheiten gekennzeichnet. Die nachfolgende Kostenbetrachtung basiert daher auf dem Preisniveau des Jahres 2020.

Die im Rahmen des Projektes ermittelten Investitionskosten belaufen sich für den Bau der Anlage bis zur Aufnahme des Regelbetriebs auf CHF 155 Mio. Die Genauigkeit dieser Kostenermittlung liegt bei ±30%. Die Kapital- und Amortisationskosten (CAPEX) von ca. 190 CHF/t KSA stellen rund 25% der Gesamtkosten dar und entsprechen etwa dem Ertrag des Phosphorsäureverkaufs. Die Betriebskosten (OPEX) von ca. 600 CHF/t KSA können nicht durch den Produkterlös gedeckt werden. Diese ungedeckten Kosten müssen durch eine Behandlungsgebühr zur Annahme der Klärschlammasche in der Höhe von ca. 580 CHF/t gedeckt werden. Die effektiven Mehrkosten des Phos4life-Verfahrens gegenüber der heutigen Monoverbrennung und Deponierung der KSA belaufen sich hingegen auf 490 CHF/t KSA, da die heutigen Deponiekosten von ca. 90 CHF/t KSA ab Monoverbrennungsanlage entfallen.

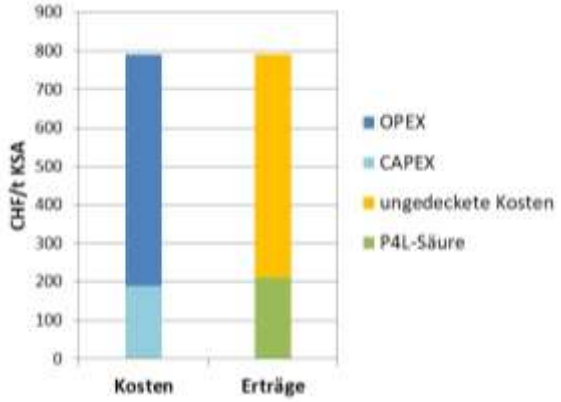


**Abbildung 3: Kosten und Ertragssituation für eine P4L-Anlage, 40'000 t/a KSA.**

## Das Phos4life Verfahren ist ökologischer als der Abbau in der Mine

Die Herstellung von P4L-Phosphorsäure aus der Klärschlammasche ist ökologischer als die primäre Phosphorsäuregewinnung. Die Umweltbelastungspunkte (UBP) können durch P4L deutlich reduziert werden. Im Referenzszenario wird von einer stofflichen Verwertung der Rückstände (Mineralik und Schwermetalle) ausgegangen.

Auch bei der $CO_2$-Bilanzierung schneidet das Phos4life-Verfahren besser als die Primärproduktion ab. Der Effekt wird hier vor allem durch den Prozessschritt der Abwasserbehandlung (ABA) geprägt, der in einer nächsten Projektphase weiter optimiert werden soll.

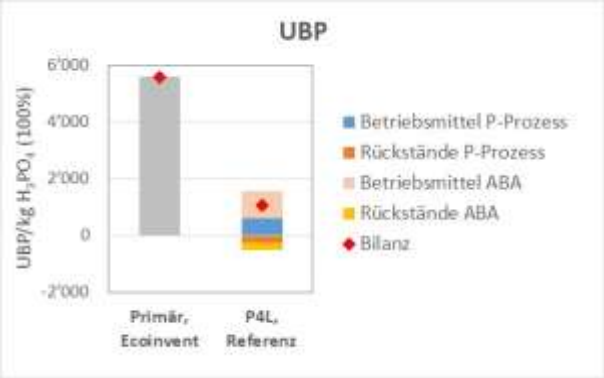


**Abbildung 4: Ökologischer Vergleich der Umweltbelastungspunkte (UBP) primärer und P4L-Phosphorsäure**

## Für eine Umsetzung der Phosphorgewinnung aus dem Abwasser ist eine gesetzliche Grundlage für deren Finanzierung erforderlich

Wir importieren neben den Phosphordüngern beachtliche Mengen an phosphorhaltigen Futter- und Nahrungsmitteln. Dies führt dazu, dass nur aus einem Teil des Klärschlamms bzw. der Klärschlammasche Phosphor zurückgewonnen werden muss, um zusammen mit dem Phosphor aus dem Tier- und Knochenmehl den Phosphorbedarf der schweizerischen Landwirtschaft zu decken.

Ökologisch wäre eine möglichst vollständige Nutzung des vorhandenen Phosphors anzustreben, wirtschaftlich hingegen wird es kaum opportun sein, mit Abwassergebühren Phosphor zurückzugewinnen, um diesen dann in ausländische Märkte abzusetzen. Es bietet sich eine analoge Finanzierungslösung wie bei den Mikroverunreinigung an, wonach sich alle Abwasserproduzenten an den Kosten beteiligen – unabhängig davon, ob aus ihrem Klärschlamm der Phosphor zurückgewonnen wird. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, damit sich in einem nächsten Schritt eine Trägerschaft bildet, die bereit ist, in ein entsprechendes Projekt zu investieren.

Weitere Informationen

oder Mail an stefan.schlumberger@kebag.ch